

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K02227

研究課題名(和文) 接ぎ手を用いた体積計算機能と造形機能を有した組み木の開発

研究課題名(英文) Development of Kumiki (wooden cube puzzles) that wooden joints and have volume computation and modeling functions

研究代表者

田中 隆充 (Tanaka, Takamitsu)

岩手大学・人文社会科学部・教授

研究者番号：20374861

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：体積計算の組木の教材に必要な要素として「幼児が興味を持ち、簡単に組み立てられる」の基礎的な知見を得るために2つの研究の柱を組み立てた。1つは、難易度を知るための研究である。接ぎ手の形が異なったキューブパズルを3種類を制作し実験を行った。組木の体積、パーツ数、パーツのサイズ、色、組み立て順序、難易度に差をつけて、被験者の空間認識等を分析した。2つ目は拡張現実を使って、ユーザーが組木を組立をする際にどのような影響を及ぼすかを実験し分析した。実験した映像を解析し被験者の組み立て際の行動や拡張現実の効果把握するために、部品同士の空間認識の変化を統計的に分析した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

体積計算の教材化するために、基本的な必要要素を組木を使用して、その基本的な効果を実験で行った。組木の組み立ての難易度は体積計算をする際に必要要素であり、本研究でその特徴的な造形的な特徴が分かった。また、本研究の成果は、今後、家具の組み立てにも応用できることが分かり、ネット販売が社会的に広がる中、ユーザーが可能な限り容易に自分自身で組み立てられる家具等のデザインに役立てると考える。

研究成果の概要(英文)：The necessary factor for making teaching materials for volume calculation using the joint technique is to make it interesting and the assembly easy for the children. We established two research pillars to obtain this basic knowledge. First, we conducted an experiment to determine the difficulty levels. We made three types of cube puzzles with different joint shapes and controlled the cube puzzles' volume, color, number of parts, assembly order, and difficulties. We analyzed the changes in the spatial recognition of the testers when they were assembling. Next, we used augmented reality (AR) and carried out the 2nd experiment. In this experiment, we analyzed how the AR technique affects testers when the testers are assembling joint cube puzzles. We recorded the testers' actions and then analyzed them. We statistically analyzed changes in spatial recognition between joint parts to determine the change in behavior of testers during assembly and the effects of using augmented reality.

研究分野：デザイン学

キーワード：継手 接ぎ手 組木 拡張現実 体積計算

1. 研究開始当初の背景

これまで、接ぎ手を用いた玩具の創造性について研究を行い、幼稚園や小学校で観察実験を行ってきた。主に少ない種類の接ぎ手で形成された組み木であっても、児童に対し、造形の制約条件をアドバイスとしての確に与えることによって自由に遊ばせるよりも、多くの創造的な造形を創出されることが分かった。小学校での観察実験では接ぎ手の種類を増やし、手のひらサイズの組み木をデザイン・設計したものをを用いた。デザイン・設計は3D-CADを用いて行い、3Dプリンタで試作を繰り返した。これらのデザイン・設計を行う一連のプロセスで、3D-CADで組み木の形状をモデリングする際、そのモデリングの考え方が体積計算の教育方法と多く一致していることを数学教育の専門家から指摘を受けた。また、教育現場の教員にヒアリングを行ったところ、複雑な形状の体積計算の問題を板書する事は難易度が高いこと、そして、本来、三次元である立体物を二次元におきかえて児童らに理解させることへの矛盾等の指摘を受けた。そこで、小学校教育における体積計算の教材に着目し、接ぎ手を用いた組み木の知見を生かし、教材をつくるための、基礎的な知見を研究することを至った。

2. 研究の目的

平成13年度に国立教育政策研究所で実施した大きな直方体から小さな直方体を引く体積計算の調査では、79.5%の正答率であり、平成26年度の調査でも81.3%であった。約20%の児童が体積計算を理解していないこと背景には、教科書を支援する立体物の教材が進化していないことが大きな要因である。教科書は3次元の立体物を2次元の図で示しており、立体物の支援補助の教材は、ほとんど活用されていないのが現状である。しかし、単に体積を計算するための教材ではなく、立体を組み立てたりする過程が教材では必要と考え、「組み立て易さ」や「組み立て支援の方法」を目的とした。組み立て支援の方法は、拡張現実(AR)を用いた可能性を考察した。

3. 研究の方法

研究は目的に照らし合わせ、2項目を同時に進め実験を行った。ここでは、【研究A】と【研究B】と分別し示す。

【研究A】

実験目的：

様々な接ぎ手の種類の形状の特性に対して、組み立て作業中のユーザの空間認識および空間変換にはどのように影響するのかを確かめる。様々な組み立て状況や場面に対して、効率向上するために、接ぎ手の形状特性がどのようにメリットを果たせるのかを明らかにする。

実験概要：

実験は2つ部分に分けた。Part 1は組み立て時の時間、エラー回数、回転する回数を記録し、分析を行った。Part 2は主に、それぞれの組木を組み立て時の被験者の心理的な行為変化について分析を行った。

接ぎ手の形が異なった3種類の組木を制作した(Type A B C)。これまでの先行研究に基づき、3つの組木の体積(縦横高さが60mmの立方体)、パーツ数、パーツのサイズ、色、組み立て順序、難易度を全て一致させた。

実験モデルの構築：

Type Aでは、過去の研究に使った組木を使用した。このモデルの接ぎ手部分(縁側、接点などを含む)の全ての形状が従来の直線的、対称の図形のままに設定した。この構造に基づき、Type B、Type Cを作った。

Type Bでは、縁側、接点などを含む接ぎ手の形を相互に非常に接近させることが出来るような空間を構築するため、三角形や半円等で構築されるようにした。その理由は、被験者がパーツに含まれている接ぎ手の幾何学的な形状の特徴を観察することによって、組み立ての解決策を見つけること出来ると考えたからである。なお、パーツ同士が非常に狭い空間に位置することをClose Spaceと本稿では定義する。

Type Cについて、基本的に、接点などを含む接ぎ手の形をType Aのままに設定した、このモデルの中にある2つのClose Space空間に接するパーツの縁側部分を、直線形状の特徴に代わり、曲線形状にした。この理由は、被験者が組み立て時の精神的行為(Mental behavior)が異なった形状に沿って曲線形状が組み立てる際に必要な接ぎ手であるかを理解することを確かめるためである。

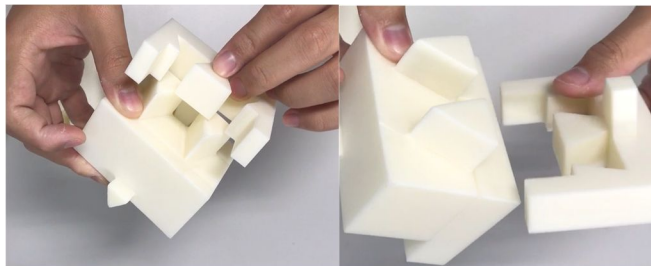


図1 Type Bの実験の様子

実験の被験者：

被験者は日本, 韓国, 中国, 台湾, モンゴル, タイの 35 人である。年齢層は 20 代から 40 代にし, 性別, 職業などの要素は考慮されていない。2 つグループに分けて実験を実施した。Group 1 はデザイン専門の大学生, 木工や機械作業に関連する方のような組み立て作業の知識や美術の知識があると思われる層で構成した。Group 2 は, 組み立て作業の経験がないと考えた層であり, サラリーマン, 教育者, 人文系の学生のような造形や組み立て経験のない被験者で構成した。

実験の流れ：

実験は個別で行われ, 組木のレイアウトは机の上にランダムに配置した。さらに, 3 つの組木とも構造 (組み立て順序) は同じであるため, 被験者は 3 つ組木の中の一つのみ組み立てさせた。実験開始前, 被験者がレイアウトの様子を覗くことが出来ないように設定し, レイアウトの配置が完了した後, 「組木を完成させよ」と命令を与え, 実験を始めた。組み上げの中で, 被験者がヒントや指示を一切受け取ることはできず, また組み立てのプロセスをビデオカメラで録画した。実験終了後, 録画した映像を確認しながら, 各実験データ (組立時間, エラー数, 回転回数) を統計化した。

【研究 B】

実験目的

予備実験で確認した問題点を拡張現実 (AR) のアプリケーションを使用して組木の組み立ての支援にどれだけ役立つかを確かめることを目的としている。本実験のために AR のアプリケーションを開発し, 実際の組木をユーザが組み立てる際のエラーを低減することが目的である。

被験者は, スマートフォンで AR のアプリケーションを操作し, アプリケーションの系統的なインタラクティブによる指示により, アプリケーションの操作方法の指示を受けることが可能である。被験者は操作方法を受けた後, 組木の組み立てが完成するまで, 指示に従って実際の組木を組み立てることができる。アプリケーションの操作画面の UI (ユーザーインターフェース) をシンプル化することで, 被験者は容易に操作ができ, 各パーツを正しく組み立てることに集中できる。また, 各パーツのグラフィックイメージ (CG) は, ユーザが外観や立体感が類似したパーツを見つけ組み立てが向上する事ができるため, 作業を困難と感じることなく進めることができる。

被験者の選定

研究では, 20~45 歳の被験者 30 人が学習経験ごとに 2 つのグループに分け, デザインの知識を持つグループと持たないグループとそれぞれ 15 人で行った。被験者を 2 グループに別けたのは, 脳の左右で考え方や見方が異なるためである。

実験の流れ

アプリケーションは 2 つのセクションに分け, UI は instruction (取り扱い説明) と assembling parts (組み立てる作業画面) で構成してある。Instructions はアプリの操作方法を日本語か英語で示している。これは, 組み上げ前に, ユーザが操作を慣れるように使い方のチュートリアルを示す。実験のスタート後, 被験者はスマートフォンを左右に動かし, スマートフォンのアイコンに従い, パーツに貼り付けられているマーカーをスキャンすると, 該当の三次元パーツが実物と共に画面に表示される。三次元の組木が表示された後, 画面をタップすると, アプリケーションが組木の組み立て方法を示すインタラクティブな三次元の組木のガイドを表示される。

組み立て部分は、三次元の組木に従って実際の組木の組み立てる方法を表示する、例えば最初にどのパーツを取るのかが示されている。

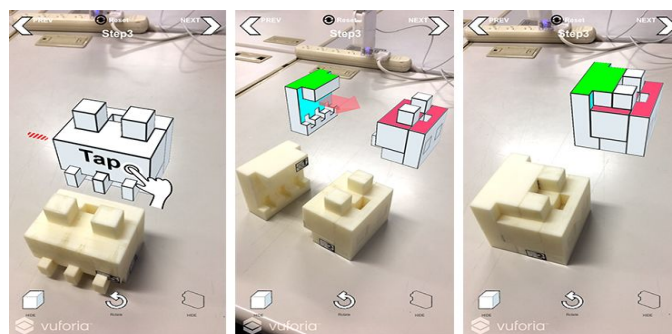


図2 ARを用いた実験の様子

4. 研究成果

【研究A】

組立作業の正確性を優先とした場合、ユーザーの空間の変換と空間の認識を Close Space に保たせることが有効と考える。また、より容易に認識できるように、Close Space の利点を活かして、互換性のある継ぎ手形状や特性を設定することが必要である。

組立作業がスピード優先として設定されている場合、Close Space の形状と異なる形状の特性を設定し、ユーザーの視線を継ぎ手の縁側の方に移せることが必要であり、形状の特徴を短時間に、心理的な負荷がかからず容易に認識できることが重要である。そうでなければ、ユーザの空間転換のタイミングを遅らせ、パーツの無意味な回転行為を増やした結果、組み立ての持続時間を軽減することができなくなる。

【研究B】

実験の結果は、アプリケーションのインストラクションを学ぶ時間と組み立て時間、また動画の分析、アンケート調査から整理した。被験者の経験と知識は異なったことにより、2つのグループの組立時間が異なると示した。デザイン知識を持つグループはデザイン知識を持たないグループより平均の組立時間が短かった。筆者の先行研究の実験の平均時間と比較してみると、アプリケーションを使うかを問わず、デザインと非デザインの平均時間がほぼ同じであるという結果が示された。先行研究の実験で、組立時間が長引く原因は、ミスとエラーによって引き起こしたが、今回の実験では、被験者が instruction 部分でチュートリアルにかかる時間が長かった。二回の実験の結果を比較すると、今回の実験の全ての被験者の平均時間データは、先行研究の実験の全体の平均時間より伸びたことがわかった。その原因は、アプリケーションを操作に慣れるまでの時間、また組み立てる時間がかかるためである。T 検定等による分析により AR を用いたアプリケーションを用いることで、組み立てに役立つことが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Peng Jiang, Thongthai Wongwichai, Sakeson Yanpanyanon and Takamitsu Tanaka.	4. 巻 N/A
2. 論文標題 Investigating the Influence of Shape on the Assembly of an “Easy to Understand” Joint Cube Puzzle	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 15th annual conference of Asia Digital Art and Design Association	6. 最初と最後の頁 N/A
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sakeson Yanpanyanon, Thongthai Wongwichai, Takamitsu Tanaka	4. 巻 -
2. 論文標題 Joint, Space and Volume study by Interactive Cube Puzzle	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of International Workshop on Advanced Image Technology 2018	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Thongthai Wongwichai, Takamitsu Tanaka	4. 巻 63(4)
2. 論文標題 Investigating affecting the difficulty in assembling a joint of a cube puzzle	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Bulletin of Japanese Society for the Science of Design	6. 最初と最後の頁 49-58
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11247/jssdj.63.4_49	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Takamitsu Tanaka, Masao Tachibana, Thongthai Wongwichai, Yen-Yu Kang	4. 巻 Volume 973
2. 論文標題 Basic Observation About the Difficulty of Assembly Wood Puzzle by Wooden Joint [Human Interface and the Management of Information	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Human Interface and the Management of Information: Applications and Services	6. 最初と最後の頁 589-598
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-319-40397-7_57	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Chen Bin, Takamitsu Tanaka
2. 発表標題 Design of Chinese Traditional Furniture in Contemporary Life
3. 学会等名 平成30年度 第1回芸術科学会東北支部研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 李欣蔚, 田中隆充
2. 発表標題 幾何学的な造形を組み合わせた木工玩具に関するデザイン研究
3. 学会等名 平成30年度 第1回芸術科学会東北支部研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takamitsu Tanaka
2. 発表標題 Development from ''Wooden Joint Technics''・''Interlocking Technics'' to ''Design Studies''
3. 学会等名 International Symposium on Computer Graphics and Applications
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中 隆充, 今野 晃市
2. 発表標題 「接合」に関する研究1～継手技術をデザイン学へ応用する事例～
3. 学会等名 日本デザイン学会第一支部 第9回研究発表大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今野 晃市, 田中 隆充
2. 発表標題 「接合」に関する研究2～仮想空間での石器の接合方法の事例～
3. 学会等名 日本デザイン学会第一支部 第9回研究発表大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 王 懿敏, 田中隆充
2. 発表標題 「分解しやすい、組み立てやすい」家具のデザインの考察
3. 学会等名 平成30年度芸術科学会東北支部大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中隆充
2. 発表標題 接ぎ手の技術を応用した組木の創造性
3. 学会等名 第64回日本デザイン学会春季研究発表大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 オウウン, 田中隆充
2. 発表標題 中国と台湾の算数教材の基礎調査から展開させた組木のデザイン
3. 学会等名 平成29年度 第1回芸術科学会東北支部研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 姜澎, 田中隆充
2. 発表標題 日本と中国における体積計算の教材に関する比較調査
3. 学会等名 平成29年度 第1回芸術科学会東北支部研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sakeson Yanpanyanon, 田中隆充
2. 発表標題 A study of Interlocking System by using comparison between Puzzle Normal Assembly and Puzzle Cube Interactive
3. 学会等名 平成29年度 第2回芸術科学会東北支部研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takamitsu Tanaka
2. 発表標題 Creativity of Development for Cube Puzzle through the Wooden Joint Technology and Interlocking System
3. 学会等名 3D計測技術連携研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 姜澎, Thongthai Wongwichai, 田中隆充
2. 発表標題 Investigating the Influence of Shape on Assembling an “Easy to Understand” Joint Cube Puzzle
3. 学会等名 平成29年度第4回芸術科学会東北支部
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wongwichai Thongtai ,Takemitsu Tanaka
2. 発表標題 Basic consideration of the interlocking design for examining the assembling mistake for wooden furnitur
3. 学会等名 日本デザイン学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 王章文,田中隆充
2. 発表標題 台湾における安比塗製品のデザインの可能性
3. 学会等名 平成28年度 第4回芸術科学会東北支部研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ベンチ	発明者 田中隆充	権利者 盛岡市
産業財産権の種類、番号 意匠、意願2020-001890	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----